

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**



Docket No.: 50212-352

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of

Michiko TAKUSHIMA, et al.

Serial No.: 10/082,134

Group Art Unit:

Filed: February 26, 2002

Examiner:

For: LONG PERIOD GRATING AND MAKING METHOD OF THE SAME

TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT

Honorable Commissioner for Patents and Trademarks
Washington, D. C. 20231

Sir:

At the time the above application was filed, priority was claimed based on the following application:

Japanese Patent Application No. 2001-049665, filed February 26, 2001

A copy of each priority application listed above is enclosed.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY

Arthur J. Steiner
Registration No. 26,106

600 13th Street, N.W.
Washington, DC 20005-3096
(202)756-8000 AJS:mlw
Facsimile: (202)756-8087
Date: June 20, 2002

Docket No.: 50212-352

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of

Michiko TAKUSHIMA, et al.

Serial No.:

Group Art Unit:

Filed: February 26, 2002

Examiner:

For: LONG PERIOD GRATING AND MAKING METHOD OF THE SAME

J1002 U.S. PRO
10/082134
02/26/02

CLAIM OF PRIORITY

Commissioner for Patents
Washington, DC 20231

Sir:

In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicant hereby claims the priority of:

Japanese Patent Application Number 2001-049665, Filed February 26, 2001

A Certified copy will be filed in due course.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY


Arthur J. Steiner

Registration No. 26,106

600 13th Street, N.W.
Washington, DC 20005-3096
(202) 756-8000 AJS:kjw
Date: February 26, 2002
Facsimile: (202) 756-8087

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE



50212-352
Michiko TAKUSHIMA
(4) et al.
February 26, 2002
10/082,134

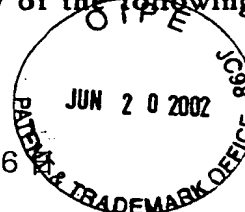
McDermott, Will & Emery

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日
Date of Application:

2001年 2月26日



出願番号
Application Number:

特願2001-049665

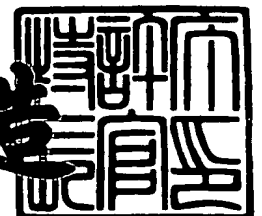
出願人
Applicant(s):

住友電気工業株式会社

2001年 9月19日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3086460

【書類名】 特許願

【整理番号】 101Y0055

【提出日】 平成13年 2月26日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 5/18
G02B 6/00

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

【氏名】 多久島 道子

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

【氏名】 茂原 政一

【特許出願人】

【識別番号】 000002130

【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100088155

【弁理士】

【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

【識別番号】 100089978

【弁理士】

【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

【識別番号】 100092657

【弁理士】

【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

【識別番号】 100110582

【弁理士】

【氏名又は名称】 柴田 昌聰

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0001754

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 長周期グレーティング素子およびその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光導波路の長手方向に沿った一定範囲において屈折率変調が形成されていて特定波長のコアモード光をクラッドモード光に変換する長周期グレーティング素子であって、

前記一定範囲において、複数の第 1 領域それぞれに第 1 周期の屈折率変調が形成されており、前記複数の第 1 領域における値を 1 とし他の領域における値を 0 とする第 1 方形波関数と前記第 1 周期の周期関数との積で前記複数の第 1 領域における前記第 1 周期の屈折率変調が表されることを特徴とする長周期グレーティング素子。

【請求項 2】 前記一定範囲において、前記複数の第 1 領域それぞれの長さの偏差が前記第 1 周期の 2 倍より小さく、前記複数の第 1 領域の間の間隔の長さの偏差が前記第 1 周期の 2 倍より小さいことを特徴とする請求項 1 記載の長周期グレーティング素子。

【請求項 3】 前記一定範囲の前記複数の第 1 領域それぞれにおける屈折率変調の振幅が等しいことを特徴とする請求項 1 記載の長周期グレーティング素子。

【請求項 4】 前記一定範囲において、前記複数の第 1 領域以外の複数の第 2 領域それぞれに第 2 周期の屈折率変調が更に形成されており、前記複数の第 2 領域における値を 1 とし他の領域における値を 0 とする第 2 方形波関数と前記第 2 周期の周期関数との積で前記複数の第 2 領域における前記第 2 周期の屈折率変調が表されることを特徴とする請求項 1 記載の長周期グレーティング素子。

【請求項 5】 前記一定範囲において前記第 1 領域と前記第 2 領域とが交互に設けられていることを特徴とする請求項 4 記載の長周期グレーティング素子。

【請求項 6】 前記一定範囲において、前記複数の第 2 領域それぞれの長さの偏差が前記第 2 周期の 2 倍より小さく、前記複数の第 2 領域の間の間隔の長さの偏差が前記第 2 周期の 2 倍より小さいことを特徴とする請求項 4 記載の長周期グレーティング素子。

【請求項 7】 前記一定範囲の前記複数の第 2 領域それぞれにおける屈折率変調の振幅が等しいことを特徴とする請求項 4 記載の長周期グレーティング素子。

【請求項 8】 前記一定範囲の前記複数の第 1 領域および前記複数の第 2 領域それぞれにおける屈折率変調の振幅が等しいことを特徴とする請求項 4 記載の長周期グレーティング素子。

【請求項 9】 請求項 1 記載の長周期グレーティング素子を製造する方法であって、

前記第 1 周期の周期関数に応じた強度変調マスクと、前記第 1 方形波関数に応じた強度変調マスクとを用意し、これら 2 つの強度変調マスクを互いに重ねて前記光導波路上に配置して、これら 2 つの強度変調マスクを介して前記光導波路に屈折率変化誘起光を照射することで、長周期グレーティング素子を製造することを特徴とする長周期グレーティング素子製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光導波路の長手方向に沿った一定範囲において屈折率変調が形成されていてコアモード光をクラッドモード光に変換する長周期グレーティング素子、および、この長周期グレーティング素子を製造する方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

長周期グレーティング素子は、光導波路（光ファイバまたは平面光導波路）の長手方向に沿った一定範囲において長周期（数百 μm 程度の周期）の屈折率変調が形成されていて、特定波長のコアモード光をクラッドモード光に変換するものである。このような長周期グレーティング素子は、入射する光のうち選択的に特定波長の光に対して損失を与えることから、光フィルタとして用いられる。また、長周期グレーティング素子は、無反射であるという特徴を有していることから、波長分割多重（WDM: Wavelength Division Multiplexing）光伝送システムにおいて光増幅器の利得を等化する利得等化器などとして好適に用いられ得る。

【0003】

単一の周期の屈折率変調が形成された長周期グレーティング素子は、通常の光通信で用いられる信号光の波長帯域において、ガウス関数で近似される形状の損失ピークを1つ有している。これに対して、光増幅器用の利得等化器は、光増幅器が有する利得スペクトルと同形状の損失スペクトルを有することが必要であって、損失ピーク波長が互いに異なる複数の損失ピークが重畳された形状の損失スペクトルを有することが必要である。このことから、利得等化器として好適に用いられる長周期グレーティング素子は、互いに異なる周期の屈折率変調が形成された複数の長周期グレーティングが融着などにより縦続接続されることで実現され得る。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記の従来の複数の損失ピーク波長を有する長周期グレーティング素子は、複数の長周期グレーティングが縦続接続されたものであることから、サイズが大きい。特に、複数の長周期グレーティングが融着接続されたものである場合には、その融着のために余長部が必要であることから、長周期グレーティング素子は更にサイズが大きい。

【0005】

本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、信号光波長帯域において複数の損失ピーク波長を有しサイズが小さい長周期グレーティング素子およびその製造方法を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る長周期グレーティング素子は、光導波路の長手方向に沿った一定範囲において屈折率変調が形成されていて特定波長のコアモード光をクラッドモード光に変換する長周期グレーティング素子であって、上記一定範囲において、複数の第1領域それぞれに第1周期の屈折率変調が形成されており、複数の第1領域における値を1とし他の領域における値を0とする第1方形波関数と第1周期の周期関数との積で複数の第1領域における第1周期の屈折率変調が表される

ことを特徴とする。

【0007】

この長周期グレーティング素子は、上記一定範囲において複数の第1領域それぞれに形成された第1周期の屈折率変調の寄与に因る損失ピークを有する他、上記一定範囲において複数の第1領域が離散的に配置されていることに因る損失ピークを有する。前者の損失ピークの波長は、第1周期に応じて決定される。後者の損失ピークの波長は、複数の第1領域の配置により決定される。これらが適切に設定されることで、この長周期グレーティング素子は、通常の光通信で用いられる信号光の波長帯域において複数の損失ピークを有するものとなり、しかも、サイズを小さくすることができる。

【0008】

本発明に係る長周期グレーティング素子は、上記一定範囲において、複数の第1領域それぞれの長さの偏差が第1周期の2倍より小さく、複数の第1領域の間隔の長さの偏差が第1周期の2倍より小さいことを特徴とする。この場合には、第1方形波関数は一定周期で一定デューティ比のものとみなし得る。そして、上記一定範囲において複数の第1領域が離散的に配置されていることに因る損失ピークの波長は、第1方形波関数の周期を適切に設定することで調整される。

【0009】

本発明に係る長周期グレーティング素子は、上記一定範囲の複数の第1領域それぞれにおける屈折率変調の振幅が等しいことを特徴とする。この場合には、複数の第1領域それぞれにおける平均屈折率が一定となるから好適である。

【0010】

また、本発明に係る長周期グレーティング素子は、上記一定範囲において、複数の第1領域以外の複数の第2領域それぞれに第2周期の屈折率変調が更に形成されており、複数の第2領域における値を1とし他の領域における値を0とする第2方形波関数と第2周期の周期関数との積で複数の第2領域における第2周期の屈折率変調が表されることを特徴とする。この場合には、長周期グレーティング素子は、さらに、上記一定範囲において複数の第2領域それぞれに形成された第2周期の屈折率変調の寄与に因る損失ピークを有する他、上記一定範囲におい

て複数の第2領域が離散的に配置されていることに因る損失ピークを有する。

【0011】

本発明に係る長周期グレーティング素子は、上記一定範囲において第1領域と第2領域とが交互に設けられていることを特徴とする。この場合には、長周期グレーティング素子のサイズを小さくする上で好適である。

【0012】

本発明に係る長周期グレーティング素子は、上記一定範囲において、複数の第2領域それぞれの長さの偏差が第2周期の2倍より小さく、複数の第2領域の間隔の長さの偏差が第2周期の2倍より小さいことを特徴とする。この場合には、第2方形波関数は一定周期で一定デューティ比のものとみなし得る。そして、上記一定範囲において複数の第2領域が離散的に配置されていることに因る損失ピークの波長は、第2方形波関数の周期を適切に設定することで調整される。

【0013】

本発明に係る長周期グレーティング素子は、上記一定範囲の複数の第2領域それぞれにおける屈折率変調の振幅が等しいことを特徴とする。この場合には、複数の第1領域それぞれにおける平均屈折率が一定となるから好適である。

【0014】

本発明に係る長周期グレーティング素子は、上記一定範囲の複数の第1領域および複数の第2領域それぞれにおける屈折率変調の振幅が等しいことを特徴とする。この場合には、複数の第1領域および複数の第2領域それぞれにおける平均屈折率が一定となるから好適である。

【0015】

本発明に係る長周期グレーティング素子製造方法は、上記の本発明に係る長周期グレーティング素子を製造する方法であって、第1周期の周期関数に応じた強度変調マスクと、第1方形波関数に応じた強度変調マスクとを用意し、これら2つの強度変調マスクを互いに重ねて光導波路上に配置して、これら2つの強度変調マスクを介して光導波路に屈折率変化誘起光を照射することで、長周期グレーティング素子を製造することを特徴とする。

【0016】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0017】

(第1実施形態)

先ず、本発明に係る長周期グレーティング素子の第1実施形態について説明する。図1は、第1実施形態に係る長周期グレーティング素子1の説明図である。この図は、光軸を含む面で長周期グレーティング素子1を切断したときの断面を示している。この図に示された長周期グレーティング素子1は、 GeO_2 が添加されたコア領域11とこれを取り囲むクラッド領域12とを含む石英系の光ファイバ10の長手方向に沿った一定範囲Wにおいて、複数の第1領域Aそれぞれに第1周期 Λ_1 の屈折率変調がコア領域11に形成されている。

【0018】

図2は、第1実施形態に係る長周期グレーティング素子1の屈折率変調の説明図である。この図に示すように、一定範囲Wにおける屈折率変調は、第1領域Aにおける値を1とし他の領域における値を0とする第1方形波関数と、第1周期 Λ_1 の周期関数との積で表される。すなわち、長手方向にz軸を設定すると、第1方形波関数 $F_1(z)$ は、

【数1】

$$\begin{aligned} F_1(z) &= 1 \quad (\text{領域A}) \\ F_1(z) &= 0 \quad (\text{領域A以外}) \end{aligned} \quad \dots(1)$$

なる式で表される。また、第1周期 Λ_1 の周期関数 $F_2(z)$ は、屈折率変調の振幅が Δn_{UV} である正弦関数で表されるとすれば、

【数2】

$$F_2(z) = \Delta n_{UV} \left(1 + \cos \frac{2\pi}{\Lambda_1} z \right) \quad \dots(2)$$

なる式で表される。そして、一定範囲Wにおける屈折率変調は $F_1(z) \cdot F_2(z)$

で表される。

【0019】

ここで、図1に示すように、複数の第1領域Aそれぞれが一定周期 L_0 で配置されていて、複数の第1領域Aそれぞれの長さを L_1 とする。このとき、上記(1)式は、周期が L_0 であってデューティ比が L_1/L_0 である方形波関数となり、フーリエ級数展開が可能となる。そして、一定範囲Wにおける屈折率変調 $F_1(z) \cdot F_2(z)$ は、

【数3】

$$\begin{aligned} F_1(z)F_2(z) &= \Delta n_{UV} \frac{L_1}{L_0} \left(1 + \cos \frac{2\pi}{\Lambda_1} z \right) \\ &+ \Delta n_{UV} \sum_{m=1}^{\infty} \left(\frac{2}{m\pi} \sin \frac{m\pi L_1}{L_0} \cos \frac{2m\pi}{L_0} z \right) \\ &+ \Delta n_{UV} \cos \frac{2\pi}{\Lambda_1} z \sum_{m=1}^{\infty} \left(\frac{2}{m\pi} \sin \frac{m\pi L_1}{L_0} \cos \frac{2m\pi}{L_0} z \right) \end{aligned} \quad \dots(3)$$

なる式で表される。

【0020】

一方、一定範囲Wの全体に亘って第1周期 Λ_1 の屈折率変調が形成されている従来の場合には、その屈折率変調は、

【数4】

$$\Delta n'_{UV} \left(1 + \cos \frac{2\pi}{\Lambda} z \right) \quad \dots(4)$$

なる式で表される。

【0021】

上記(3)式と上記(4)式とを比較すると、以下のことが言える。すなわち、上記(3)式の右辺第1項は、屈折率変調振幅 Δn_{UV} を適切に設定することで、上記(4)式と同形となる。このことから、本実施形態に係る長周期グレーティング素子1においては、上記(3)式の右辺第1項の寄与に因る損失ピークは、上記(4)式で屈

折率変調が表される従来の長周期グレーティングにおける損失ピークと同一の形状とすることができる。

【0022】

上記(3)式の右辺第2項は、上記(1)式の方形波関数 $F_1(z)$ の周期成分である。 L_0 と Λ_1 との間に

【数5】

$$L_0 \gg \Lambda_1 \quad \dots(5)$$

なる関係があることを考慮すると、上記(3)式の右辺第2項は、第1項の寄与に因る損失ピークの波長より長波長側における損失特性に影響を与えるものである。

【0023】

また、上記(3)式の右辺第3項は、

【数6】

$$\frac{\Delta n_{UV}}{2} \sum_{m=1}^{\infty} \left[\frac{2}{m\pi} \sin \frac{m\pi L_1}{L_0} \left\{ \cos 2\pi \left(\frac{1}{\Lambda} + \frac{m}{L_0} \right) z + \cos 2\pi \left(\frac{1}{\Lambda} - \frac{m}{L_0} \right) z \right\} \right] \quad \dots(6)$$

なる式に変形することができる。すなわち、上記(3)式の右辺第3項は、周期 Λ_1 と周期 m/L_0 とのビートに因る損失ピークを与えるものである。したがって、本実施形態に係る長周期グレーティング素子1は、 L_0 の値を適切に設定することにより、通常の光通信で用いられる信号光の波長帯域（例えば1520nm～1600nm）において、上記(3)式の右辺第1項に基づく損失ピークの他に、上記(3)式の右辺第3項に基づく損失ピークをも有することができる。

【0024】

なお、以上の説明では、第1方形波関数 $F_1(z)$ は、周期が L_0 であってデューティ比が L_1/L_0 であるとした。ただし、複数の第1領域Aそれぞれの長さ L_1 の偏差が第1周期 Λ_1 の2倍より小さく、複数の第1領域Aの間の間隔の長さの

偏差が第1周期 Λ_1 の2倍より小さければ、第1方形波関数 $F_1(z)$ は周期が L_0 であってデューティ比が L_1/L_0 であるとしてよい。また、以上の説明では、第1周期 Λ_1 の周期関数 $F_2(z)$ は、複数の第1領域Aそれぞれにおける屈折率変調の振幅が等しいとした。このようにすることで、複数の第1領域Aそれぞれにおける平均屈折率が一定となるから好適である。

【0025】

次に、第1実施形態に係る長周期グレーティング素子1の実施例（実施例1、実施例2）について説明する。

【0026】

図3は、実施例1の長周期グレーティング素子の透過特性を示す図である。実施例1の長周期グレーティング素子は、 $L_0=4\text{ mm}$ 、 $L_1=2\text{ mm}$ 、 $\Lambda_1=360\text{ }\mu\text{ m}$ 、第1領域Aの数が10であり、一定範囲Wの長さが38mmである。この実施例1の長周期グレーティング素子の透過特性は、図3中に実線で示されている。また、図3中に破線で示されたものは、比較例1の長周期グレーティング素子（長さ38mmの全体に亘って一定周期の屈折率変調が形成されたもの）の透過特性である。

【0027】

図3から判るように、実施例1の長周期グレーティング素子は、比較例1の長周期グレーティング素子と同様に、波長1530nm付近で損失ピークを有している。この波長1530nm付近損失ピークは上記(3)式の右辺第1項に基づくものである。また、実施例1の長周期グレーティング素子は、比較例1の長周期グレーティング素子とが異なり、波長1465nm付近および1620nm付近それぞれでも損失ピークを有している。これらの損失ピークは上記(3)式の右辺第3項に基づくものである。

【0028】

図4は、実施例2の長周期グレーティング素子の透過特性を示す図である。実施例2の長周期グレーティング素子は、 $L_0=10.6\text{ mm}$ 、 $L_1=6.1\text{ mm}$ 、 $\Lambda_1=360\text{ }\mu\text{ m}$ 、第1領域Aの数が4であり、一定範囲Wの長さが38mmである。この実施例2の長周期グレーティング素子の透過特性は、図4中に実線で

示されている。また、図 4 中に破線で示されたものは、比較例 2 の長周期グレーティング素子（長さ 3.8 mm の全体に亘って一定周期 373.5 μ m の屈折率変調が形成されたもの）の透過特性である。図 5 は、比較例 1 の長周期グレーティング素子と比較例 2 の長周期グレーティング素子とを融着接続した場合の全体の透過特性を示す図である。

【 0 0 2 9 】

図 4 から判るように、実施例 2 の長周期グレーティング素子は、波長 1530 nm 付近で損失ピーク（上記(3)式の右辺第 1 項に基づくもの）を有している他、波長 1505 nm 付近および波長 1560 nm 付近それぞれでも損失ピーク（上記(3)式の右辺第 3 項に基づくもの）を有している。また、図 4 と図 5 との比較から判るように、通常の光通信で用いられる信号光の波長帯域（例えば 1520 nm ～ 1600 nm）において、実施例 2 の長周期グレーティング素子の透過特性は、比較例 1 の長周期グレーティング素子と比較例 2 の長周期グレーティング素子とを融着接続した場合の全体の透過特性と略等しい。このように、実施例 2 の長周期グレーティング素子は、信号光波長帯域において複数の損失ピーク波長を有していてもサイズが小さい。

【 0 0 3 0 】

（第 2 実施形態）

次に、本発明に係る長周期グレーティング素子の第 2 実施形態について説明する。図 6 は、第 2 実施形態に係る長周期グレーティング素子 2 の説明図である。この図は、光軸を含む面で長周期グレーティング素子 2 を切断したときの断面を示している。この図に示された長周期グレーティング素子 2 は、 GeO_2 が添加されたコア領域 21 とこれを取り囲むクラッド領域 22 とを含む石英系の光ファイバ 20 の長手方向に沿った一定範囲 W において、複数の第 1 領域 A それぞれに第 1 周期 Λ_1 の屈折率変調がコア領域 21 に形成されており、複数の第 2 領域 B それぞれに第 2 周期 Λ_2 の屈折率変調がコア領域 21 に形成されている。第 1 領域 A と第 2 領域 B とは、互いに重なることはなく、長手方向に沿って交互に設けられている。また、第 1 周期 Λ_1 と第 2 周期 Λ_2 とは互いに異なる。

【 0 0 3 1 】

一定範囲Wにおいて、複数の第1領域Aそれぞれにおける屈折率変調は、第1実施形態の場合と同様に、第1領域Aにおける値を1とし他の領域における値を0とする第1方形波関数と、第1周期 Λ_1 の周期関数との積で表される。また、これと同様に、一定範囲Wにおいて、複数の第2領域Bそれぞれにおける屈折率変調は、第2領域Bにおける値を1とし他の領域における値を0とする第2方形波関数と、第2周期 Λ_2 の周期関数との積で表される。

【0032】

なお、第1方形波関数は、周期が L_0 であってデューティ比が L_1/L_0 であるのが好適である。ただし、複数の第1領域Aそれぞれの長さ L_1 の偏差が第1周期 Λ_1 の2倍より小さく、複数の第1領域Aの間隔の長さの偏差が第1周期 Λ_1 の2倍より小さければ、第1方形波関数は周期が L_0 であってデューティ比が L_1/L_0 であるとしてよい。同様に、第2方形波関数は、周期が L_0 であってデューティ比が L_2/L_0 であるのが好適である。ただし、複数の第2領域Bそれぞれの長さ L_2 の偏差が第2周期 Λ_2 の2倍より小さく、複数の第2領域Bの間隔の長さの偏差が第2周期 Λ_2 の2倍より小さければ、第2方形波関数は周期が L_0 であってデューティ比が L_2/L_0 であるとしてよい。

【0033】

また、第1周期 Λ_1 の周期関数は、複数の第1領域Aそれぞれにおける屈折率変調の振幅が等しいのが好適である。同様に、第2周期 Λ_2 の周期関数は、複数の第2領域Bそれぞれにおける屈折率変調の振幅が等しいのが好適である。さらに、複数の第1領域Aそれぞれにおける屈折率変調の振幅と、複数の第2領域Bそれぞれにおける屈折率変調の振幅とが、互いに等しいのも好適である。

【0034】

本実施形態に係る長周期グレーティング素子2の透過特性は、複数の第1領域Aそれぞれにおける屈折率変調に因る寄与分と、複数の第2領域Bそれぞれにおける屈折率変調に因る寄与分とが、重畳されたものとなる。複数の第1領域Aそれぞれにおける屈折率変調に因る寄与分は、第1実施形態に示したものと同様である。また、複数の第2領域Bそれぞれにおける屈折率変調に因る寄与分も、第1実施形態に示したものと同様である。

【 0 0 3 5 】

次に、第 2 実施形態に係る長周期グレーティング素子 2 の実施例（実施例 3）について説明する。図 7 は、実施例 3 の長周期グレーティング素子の透過特性を示す図である。実施例 3 の長周期グレーティング素子は、 $L_0 = 4 \text{ mm}$ 、 $L_1 = 2 \text{ mm}$ 、 $L_2 = 2 \text{ mm}$ 、 $\Lambda_1 = 360 \mu\text{m}$ 、 $\Lambda_2 = 365 \mu\text{m}$ 、第 1 領域 A の数が 10 であり、第 2 領域 B の数が 10 であり、一定範囲 W の長さが 40 mm である。この実施例 3 の長周期グレーティング素子の透過特性は、図 7 中に実線で示されている。また、図 7 中には、比較例 3 A の長周期グレーティング素子（長さ 40 mm の全体に亘って一定周期 $363 \mu\text{m}$ の屈折率変調が形成されたもの）の透過特性、および、比較例 3 B の長周期グレーティング素子（長さ 40 mm の全体に亘って一定周期 $368 \mu\text{m}$ の屈折率変調が形成されたもの）の透過特性も示されている。図 8 は、比較例 3 A の長周期グレーティング素子と比較例 3 B の長周期グレーティング素子とを融着接続した場合の全体の透過特性を示す図である。

【 0 0 3 6 】

図 7 から判るように、実施例 3 の長周期グレーティング素子は、波長 1540 nm 付近および波長 1550 nm 付近それぞれで損失ピーク（上記(3)式の右辺第 1 項に基づくもの）を有している。波長 1540 nm 付近の損失ピークは、第 1 領域 A における第 1 周期 Λ_1 の屈折率変調の寄与である。一方、波長 1550 nm 付近の損失ピークは、第 2 領域 B における第 2 周期 Λ_2 の屈折率変調の寄与である。

【 0 0 3 7 】

また、実施例 3 の長周期グレーティング素子は、波長 1475 nm 付近、波長 1485 nm 付近、波長 1625 nm 付近および波長 1640 nm 付近それぞれで損失ピーク（上記(3)式の右辺第 3 項に基づくもの）を有している。これらの損失ピークは、 L_0 を適切に設定することで、信号光波長帯域内に存在するようにすることができる。

【 0 0 3 8 】

また、図 7 と図 8 との比較から判るように、通常の光通信で用いられる信号光の波長帯域において、実施例 3 の長周期グレーティング素子の透過特性は、比較

例 3 A の長周期グレーティング素子と比較例 3 B の長周期グレーティング素子とを融着接続した場合の全体の透過特性と略等しい。このように、実施例 3 の長周期グレーティング素子は、信号光波長帯域において複数の損失ピーク波長を有していてもサイズが小さい。

【 0 0 3 9 】

なお、実施例 3 の長周期グレーティング素子の第 1 領域 A における屈折率変調の周期 Λ_1 が $360\ \mu\text{m}$ であるのに対して、比較例 3 A の長周期グレーティング素子における屈折率変調の周期が $363\ \mu\text{m}$ であって、比較例 3 A の方が周期が長い。また、実施例 3 の長周期グレーティング素子の第 2 領域 B における屈折率変調の周期 Λ_2 が $365\ \mu\text{m}$ であるのに対して、比較例 3 B の長周期グレーティング素子における屈折率変調の周期が $368\ \mu\text{m}$ であって、比較例 3 B の方が周期が長い。これは、比較例 3 A, 3 B と比較して実施例 3 では、短い長さで同様の透過特性を実現するために、屈折率変調の振幅が大きく、平均屈折率が大きくなるからである。すなわち、比較例 3 A, 3 B と実施例 3 とでは平均屈折率が異なることから、これに応じて屈折率変調の周期を異ならせる必要がある。

【 0 0 4 0 】

次に、第 2 実施形態に係る長周期グレーティング素子 2 の製造方法について説明する。なお、以下に説明する製造方法では、途中段階で第 1 実施形態に係る長周期グレーティング素子 1 が製造されて、その後に第 2 実施形態に係る長周期グレーティング素子 2 が製造される。

【 0 0 4 1 】

図 9 は、第 2 実施形態に係る長周期グレーティング素子 2 を製造する際に用いられる強度変調マスクの説明図である。図 9 (a) に示された強度変調マスク 7 は、屈折率変化誘起光に対して透明な材料（例えば石英ガラス）からなる平板の一面に、或る一方向の長さ W_1 ($W_1 > W$) の範囲に亘って、その屈折率変化誘起光を遮断する領域（例えば酸化クロムが蒸着された領域）が周期 Λ_1 で縞状に設けられたものである。ここで、屈折率変化誘起光は、 GeO_2 が添加された石英ガラスの屈折率を上昇させ得る波長の光であって、例えば、 KrF エキシマレーザ光源から出力される波長 $248\ \text{nm}$ の紫外レーザ光である。図 9 (b) に示さ

れた強度変調マスク 8 は、屈折率変化誘起光に対して透明な材料からなる平板の一面に、或る一方向の長さ W_2 ($W_2 > W$) の範囲に亘って、その屈折率変化誘起光を遮断する領域が周期 Λ_2 で縞状に設けられたものである。

【 0 0 4 2 】

また、図 9 (c) に示された強度変調マスク 9 は、屈折率変化誘起光に対して透明な材料からなる平板の一面に、或る一方向の長さ W_3 ($W_3 > W$) の範囲に亘って、その屈折率変化誘起光を遮断する領域が周期 L_0 で 2 列平行に縞状に設けられたものである。第 1 列では屈折率変化誘起光を遮断する領域の長さ（上記一方向に沿った長さ）が L_1 であり、第 2 列では屈折率変化誘起光を遮断する領域の長さ（上記一方向に沿った長さ）が L_2 である。また、上記一方向に沿って見たときに、第 1 列における屈折率変化誘起光を遮断する領域と、第 2 列における屈折率変化誘起光を遮断する領域とは、交互に設けられている。

【 0 0 4 3 】

図 1 0 および図 1 1 は、第 2 実施形態に係る長周期グレーティング素子 2 の製造方法の説明図である。各図 (a) は、各強度変調マスクに垂直な方向に見た図であり、各図 (b) は、各強度変調マスクに平行であって光ファイバ 2 0 の長手方向に垂直な方向に見た図である。

【 0 0 4 4 】

最初に図 1 0 に示すように、強度変調マスク 7 の縞状部分（周期 Λ_1 ）と強度変調マスク 9 の第 1 列の縞状部分（遮断領域の長さ L_1 ）とが互いに重ねられて光ファイバ 2 0 上に配置される。このとき、各強度変調マスク 7, 9 の縞が光ファイバ 2 0 の長手方向と直交するように配置される。そして、これら 2 つの強度変調マスク 7, 9 を介して光ファイバ 2 0 に、長手方向に沿った長さ W の一定範囲に亘って均一な強度で屈折率変化誘起光（紫外光）が照射されることで、光ファイバ 2 0 の各第 1 領域 A に周期 Λ_1 の振幅変調が形成される。この時点で作成されたものは、第 1 実施形態の長周期グレーティング素子 1 と同等のものである。

【 0 0 4 5 】

次に図 1 1 に示すように、強度変調マスク 7 が強度変調マスク 8 に交換され、

光ファイバ 20 の長手方向に直交する方向に強度変調マスク 9 が行移動されて、強度変調マスク 8 の縞状部分（周期 Λ_2 ）と強度変調マスク 9 の第 2 列の縞状部分（遮断領域の長さ L_2 ）とが互いに重ねられて光ファイバ 20 上に配置される。このとき、各強度変調マスク 8, 9 の縞が光ファイバ 20 の長手方向と直交するように配置される。そして、これら 2 つの強度変調マスク 8, 9 を介して光ファイバ 20 に、長手方向に沿った長さ W の一定範囲に亘って均一な強度で屈折率変化誘起光（紫外光）が照射されることで、光ファイバ 20 の各第 2 領域 B に周期 Λ_2 の振幅変調が形成される。

【 0 0 4 6 】

本実施形態に係る長周期グレーティング素子製造方法では、一定周期 Λ_1 の強度変調マスク 7 の一部が強度変調マスク 9 でマスクされて、光ファイバ 20 の第 1 領域 A に周期 Λ_1 の屈折率変調が形成される。また、一定周期 Λ_2 の強度変調マスク 8 の一部が強度変調マスク 9 でマスクされて、光ファイバ 20 の第 2 領域 B に周期 Λ_2 の屈折率変調が形成される。したがって、この製造方法により製造される長周期グレーティング素子では、一定範囲 W において、複数の第 1 領域 A それぞれにおける屈折率変調は、第 1 領域 A における値を 1 とし他の領域における値を 0 とする第 1 方形波関数（周期 L_0 、デューティ比 L_1/L_0 ）と、第 1 周期 Λ_1 の周期関数との積で表される。また、同様に、一定範囲 W において、複数の第 2 領域 B それぞれにおける屈折率変調は、第 2 領域 B における値を 1 とし他の領域における値を 0 とする第 2 方形波関数（周期 L_0 、デューティ比 L_2/L_0 ）と、第 2 周期 Λ_2 の周期関数との積で表される。すなわち、第 2 実施形態の長周期グレーティング素子 2 が製造される。

【 0 0 4 7 】

なお、第 1 領域 A において周期 Λ_1 で等間隔で屈折率上昇部が形成されている範囲の一端から他端までを第 1 領域 A の長さ L_1 とし、第 2 領域 B において周期 Λ_2 で等間隔で屈折率上昇部が形成されている範囲の一端から他端までを第 2 領域 B の長さ L_2 とすれば、強度変調マスク 7 と強度変調マスク 9 とが重ねられる際の各々の屈折率変化誘起光遮断領域の相対的位置関係によっては、複数の第 1 領域 A それぞれの長さ L_1 は必ずしも一定ではなく、複数の第 2 領域 B それぞれ

の長さ L_2 も必ずしも一定ではない。しかし、上記の製造方法により製造される長周期グレーティング素子では、各強度変調マスクが一定周期のものであるので、複数の第1領域Aそれぞれの長さ L_1 の偏差が第1周期 Λ_1 の2倍より小さく、複数の第1領域Aの間隔の長さの偏差が第1周期 Λ_1 の2倍より小さく、複数の第2領域Bそれぞれの長さ L_2 の偏差が第2周期 Λ_2 の2倍より小さく、複数の第2領域Bの間隔の長さの偏差が第2周期 Λ_2 の2倍より小さい。したがって、第1方形波関数は周期が L_0 であってデューティ比が L_1/L_0 であるとしてよく、同様に、第2方形波関数は周期が L_0 であってデューティ比が L_2/L_0 であるとしてよく、上記(1)式～(6)式で述べたことが成り立つ。

【0048】

(第3実施形態)

次に、本発明に係る長周期グレーティング素子の第3実施形態について説明する。図12は、第3実施形態に係る長周期グレーティング素子3の説明図である。この図は、光軸を含む面で長周期グレーティング素子3を切断したときの断面を示している。この図に示された長周期グレーティング素子3は、 GeO_2 が添加されたコア領域31とこれを取り囲むクラッド領域32とを含む石英系の光ファイバ30の長手方向に沿った一定範囲Wにおいて、複数の第1領域Aそれぞれに第1周期 Λ_1 の屈折率変調がコア領域31に形成されており、複数の第2領域Bそれぞれに第2周期 Λ_2 の屈折率変調がコア領域31に形成されており、複数の第3領域Cそれぞれに第3周期 Λ_3 の屈折率変調がコア領域31に形成されている。第1領域A、第2領域Bおよび第3領域Cそれぞれは、互いに重なることはなく、長手方向に沿って順に設けられている。また、第1周期 Λ_1 、第2周期 Λ_2 および第3周期 Λ_3 それぞれは互いに異なる。

【0049】

一定範囲Wにおいて、複数の第1領域Aそれぞれにおける屈折率変調は、第1実施形態の場合と同様に、第1領域Aにおける値を1とし他の領域における値を0とする第1方形波関数と、第1周期 Λ_1 の周期関数との積で表される。これと同様に、一定範囲Wにおいて、複数の第2領域Bそれぞれにおける屈折率変調は、第2領域Bにおける値を1とし他の領域における値を0とする第2方形波関数

と、第2周期 Λ_2 の周期関数との積で表される。また、一定範囲Wにおいて、複数の第3領域Cそれぞれにおける屈折率変調は、第3領域Cにおける値を1とし他の領域における値を0とする第3方形波関数と、第3周期 Λ_3 の周期関数との積で表される。

【 0 0 5 0 】

なお、第1方形波関数は、周期が L_0 であってデューティ比が L_1/L_0 であるのが好適である。ただし、複数の第1領域Aそれぞれの長さ L_1 の偏差が第1周期 Λ_1 の2倍より小さく、複数の第1領域Aの間隔の長さの偏差が第1周期 Λ_1 の2倍より小さければ、第1方形波関数は周期が L_0 であってデューティ比が L_1/L_0 であるとしてよい。同様に、第2方形波関数は、周期が L_0 であってデューティ比が L_2/L_0 であるのが好適である。ただし、複数の第2領域Bそれぞれの長さ L_2 の偏差が第2周期 Λ_2 の2倍より小さく、複数の第2領域Bの間隔の長さの偏差が第2周期 Λ_2 の2倍より小さければ、第2方形波関数は周期が L_0 であってデューティ比が L_2/L_0 であるとしてよい。また、同様に、第3方形波関数は、周期が L_0 であってデューティ比が L_3/L_0 であるのが好適である。ただし、複数の第3領域Cそれぞれの長さ L_3 の偏差が第3周期 Λ_3 の2倍より小さく、複数の第3領域Cの間隔の長さの偏差が第3周期 Λ_3 の2倍より小さければ、第3方形波関数は周期が L_0 であってデューティ比が L_3/L_0 であるとしてよい。

【 0 0 5 1 】

また、第1周期 Λ_1 の周期関数は、複数の第1領域Aそれぞれにおける屈折率変調の振幅が等しいのが好適である。同様に、第2周期 Λ_2 の周期関数は、複数の第2領域Bそれぞれにおける屈折率変調の振幅が等しいのが好適である。また、第3周期 Λ_3 の周期関数は、複数の第3領域Cそれぞれにおける屈折率変調の振幅が等しいのが好適である。さらに、複数の第1領域Aそれぞれにおける屈折率変調の振幅、複数の第2領域Bそれぞれにおける屈折率変調の振幅、および、複数の第3領域Cそれぞれにおける屈折率変調の振幅それぞれが、互いに等しいのも好適である。

【 0 0 5 2 】

本実施形態に係る長周期グレーティング素子3の透過特性は、複数の第1領域Aそれぞれにおける屈折率変調に因る寄与分、複数の第2領域Bそれぞれにおける屈折率変調に因る寄与分、および、複数の第3領域Cそれぞれにおける屈折率変調に因る寄与分が、重畳されたものとなる。複数の第1領域Aそれぞれにおける屈折率変調に因る寄与分は、第1実施形態に示したものと同様である。また、複数の第2領域Bそれぞれにおける屈折率変調に因る寄与分も、第1実施形態に示したものと同様であり、複数の第3領域Cそれぞれにおける屈折率変調に因る寄与分も、第1実施形態に示したものと同様である。

【0053】

次に、第3実施形態に係る長周期グレーティング素子3の実施例（実施例4）について説明する。図13は、実施例4の長周期グレーティング素子の透過特性を示す図である。実施例4の長周期グレーティング素子は、 $L_0 = 4.5 \text{ mm}$ 、 $L_1 = L_2 = L_3 = 1.5 \text{ mm}$ 、 $\Lambda_1 = 360 \mu\text{m}$ 、 $\Lambda_2 = 365 \mu\text{m}$ 、 $\Lambda_3 = 370 \mu\text{m}$ 、第1領域Aの数が11であり、第2領域Bの数が11であり、第3領域Cの数が11であり、一定範囲Wの長さが49.5 mmである。

【0054】

図13から判るように、実施例4の長周期グレーティング素子は、波長1530 nm付近、波長1545 nm付近および波長1560 nm付近それぞれで損失ピーク（上記(3)式の右边第1項に基づくもの）を有している。波長1530 nm付近の損失ピークは、第1領域Aにおける第1周期 Λ_1 の屈折率変調の寄与である。波長1545 nm付近の損失ピークは、第2領域Bにおける第2周期 Λ_2 の屈折率変調の寄与である。また、波長1560 nm付近の損失ピークは、第3領域Cにおける第3周期 Λ_3 の屈折率変調の寄与である。

【0055】

また、実施例4の長周期グレーティング素子は、波長1475 nm付近、波長1485 nm付近、波長1495 nm付近、波長1605 nm付近、波長1620 nm付近および波長1635 nm付近それぞれでも損失ピーク（上記(3)式の右边第3項に基づくもの）を有している。これらの損失ピークは、 L_0 を適切に設定することで、信号光波長帯域内に存在するようにすることができる。このよ

うに、実施例 4 の長周期グレーティング素子は、信号光波長帯域において複数の損失ピーク波長を有していてもサイズが小さい。

【0056】

【発明の効果】

以上、詳細に説明したとおり、本発明に係る長周期グレーティング素子は、一定範囲において、複数の第 1 領域それぞれに第 1 周期の屈折率変調が形成されており、複数の第 1 領域における値を 1 とし他の領域における値を 0 とする第 1 方形波関数と第 1 周期の周期関数との積で複数の第 1 領域における第 1 周期の屈折率変調が表される。この長周期グレーティング素子は、上記一定範囲において複数の第 1 領域それぞれに形成された第 1 周期の屈折率変調の寄与に因る損失ピークを有する他、上記一定範囲において複数の第 1 領域が離散的に配置されていることに因る損失ピークを有する。前者の損失ピークの波長は、第 1 周期に応じて決定される。後者の損失ピークの波長は、複数の第 1 領域の配置により決定される。これらが適切に設定されることで、この長周期グレーティング素子は、通常の光通信で用いられる信号光の波長帯域において複数の損失ピークを有するものとなり、しかも、サイズを小さくすることができる。

【0057】

また、上記一定範囲において、複数の第 1 領域以外の複数の第 2 領域それぞれに第 2 周期の屈折率変調が更に形成されており、複数の第 2 領域における値を 1 とし他の領域における値を 0 とする第 2 方形波関数と第 2 周期の周期関数との積で複数の第 2 領域における第 2 周期の屈折率変調が表されるのが好適である。この場合には、長周期グレーティング素子は、さらに、上記一定範囲において複数の第 2 領域それぞれに形成された第 2 周期の屈折率変調の寄与に因る損失ピークを有する他、上記一定範囲において複数の第 2 領域が離散的に配置されていることに因る損失ピークを有する。したがって、この長周期グレーティング素子は、サイズが小さいままで、信号光の波長帯域において更に多くの損失ピークを有するものとなる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

第 1 実施形態に係る長周期グレーティング素子 1 の説明図である。

【図 2】

第 1 実施形態に係る長周期グレーティング素子 1 の屈折率変調の説明図である。

【図 3】

実施例 1 の長周期グレーティング素子の透過特性を示す図である。

【図 4】

実施例 2 の長周期グレーティング素子の透過特性を示す図である。

【図 5】

比較例 1 の長周期グレーティング素子と比較例 2 の長周期グレーティング素子とを融着接続した場合の全体の透過特性を示す図である。

【図 6】

第 2 実施形態に係る長周期グレーティング素子 1 の説明図である。

【図 7】

実施例 3 の長周期グレーティング素子の透過特性を示す図である。

【図 8】

比較例 3 A の長周期グレーティング素子と比較例 3 B の長周期グレーティング素子とを融着接続した場合の全体の透過特性を示す図である。

【図 9】

第 2 実施形態に係る長周期グレーティング素子 2 を製造する際に用いられる強度変調マスクの説明図である。

【図 1 0】

第 2 実施形態に係る長周期グレーティング素子 2 の製造方法の説明図である。

【図 1 1】

第 2 実施形態に係る長周期グレーティング素子 2 の製造方法の説明図である。

【図 1 2】

第 3 実施形態に係る長周期グレーティング素子 3 の説明図である。

【図 1 3】

実施例 4 の長周期グレーティング素子の透過特性を示す図である。

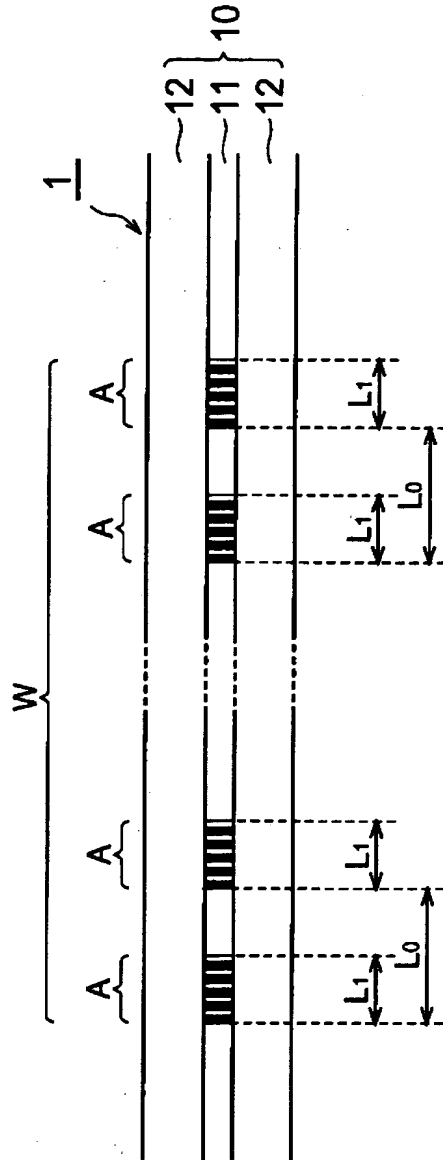
【符号の説明】

1 ～ 3 …長周期グレーティング素子、 7 ～ 9 …強度変調マスク、 1 0 …光ファイバ、 1 1 …コア領域、 1 2 …クラッド領域、 2 0 …光ファイバ、 2 1 …コア領域、 2 2 …クラッド領域、 3 0 …光ファイバ、 3 1 …コア領域、 3 2 …クラッド領域。

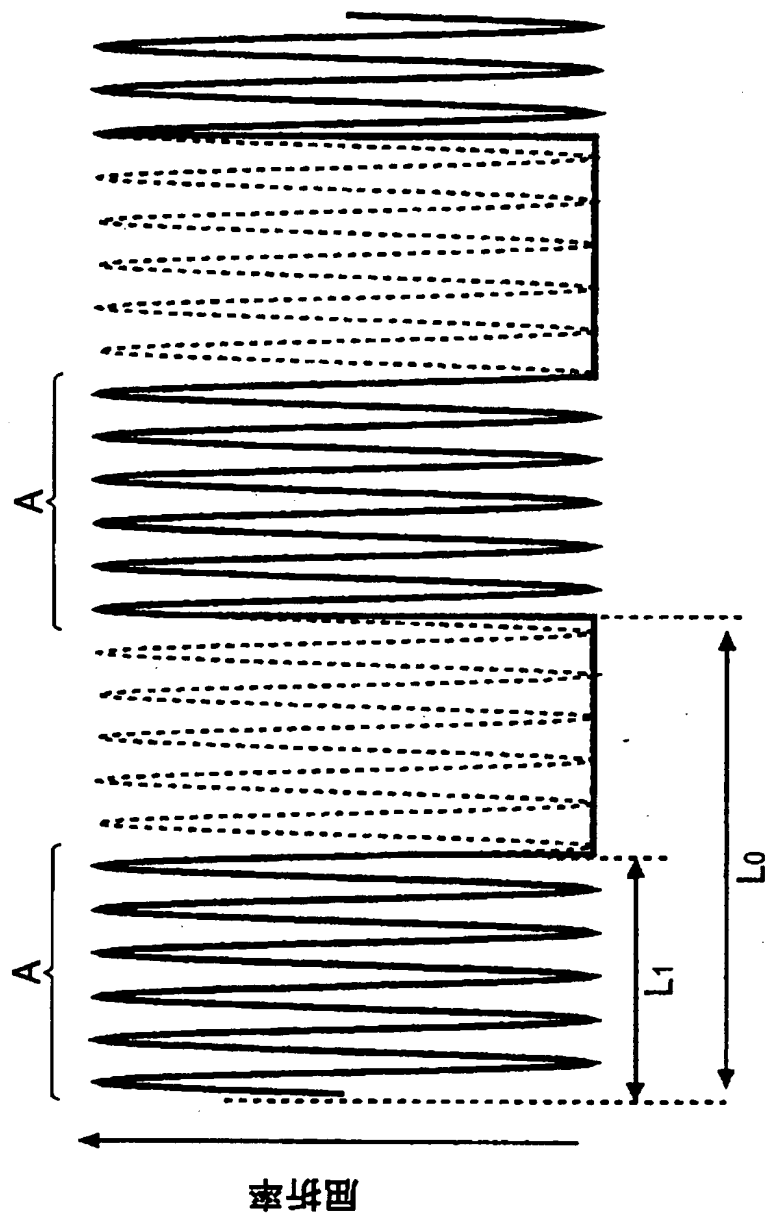
【書類名】

図面

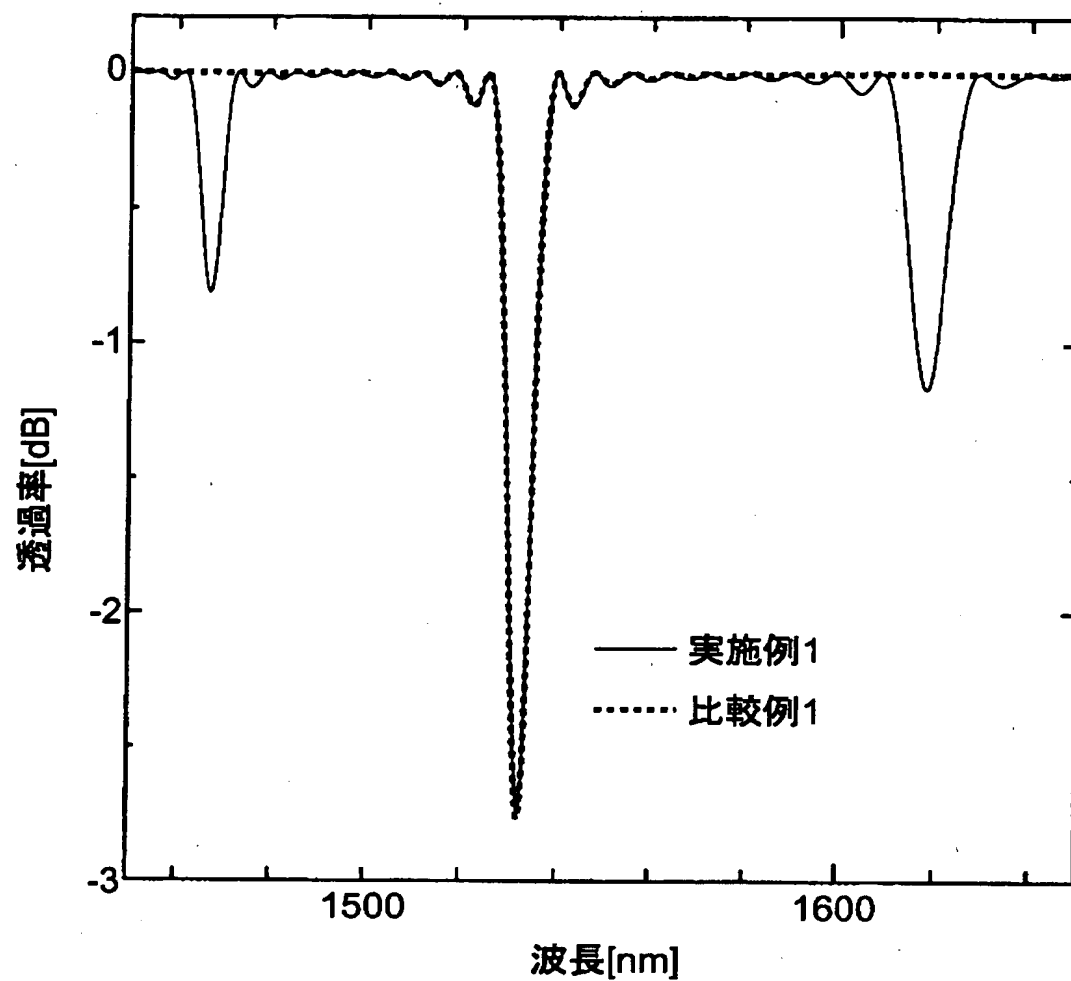
【図 1】



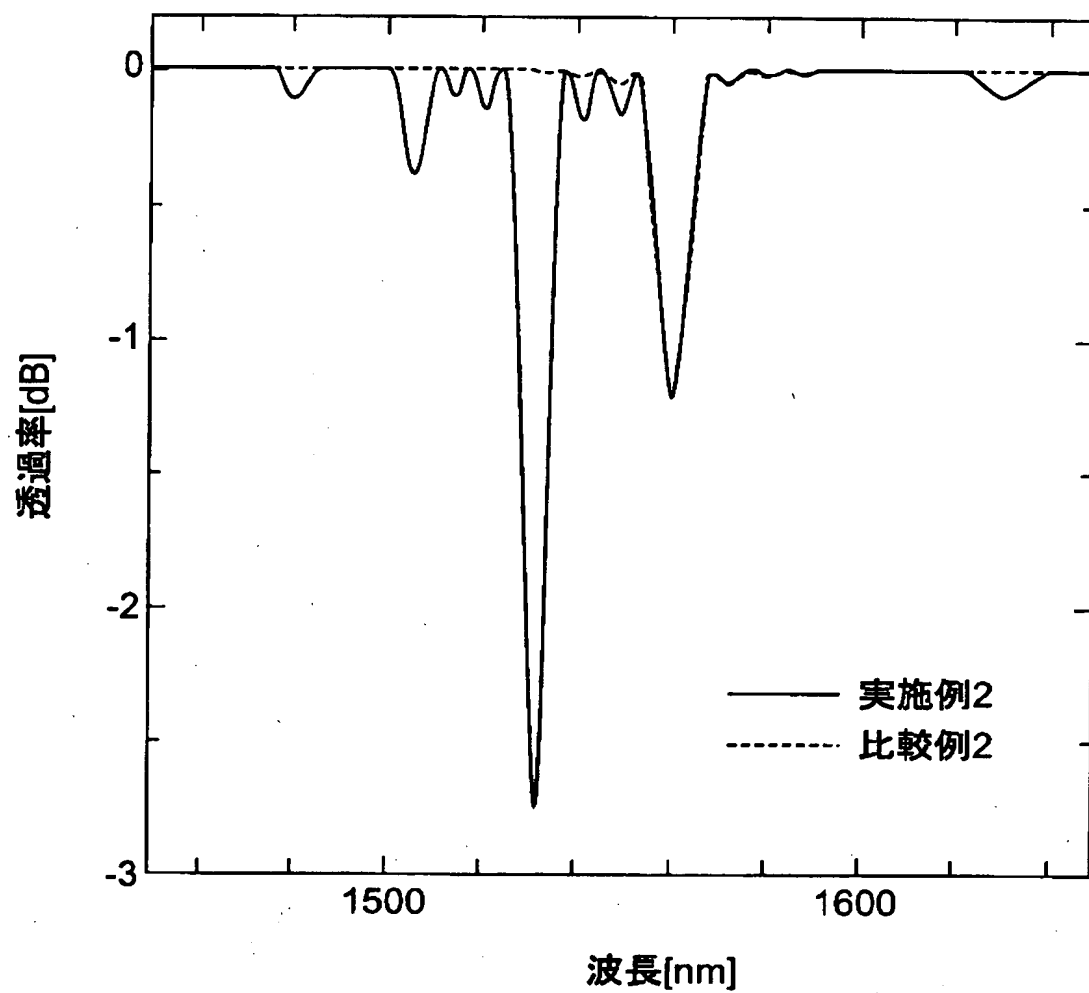
【図2】



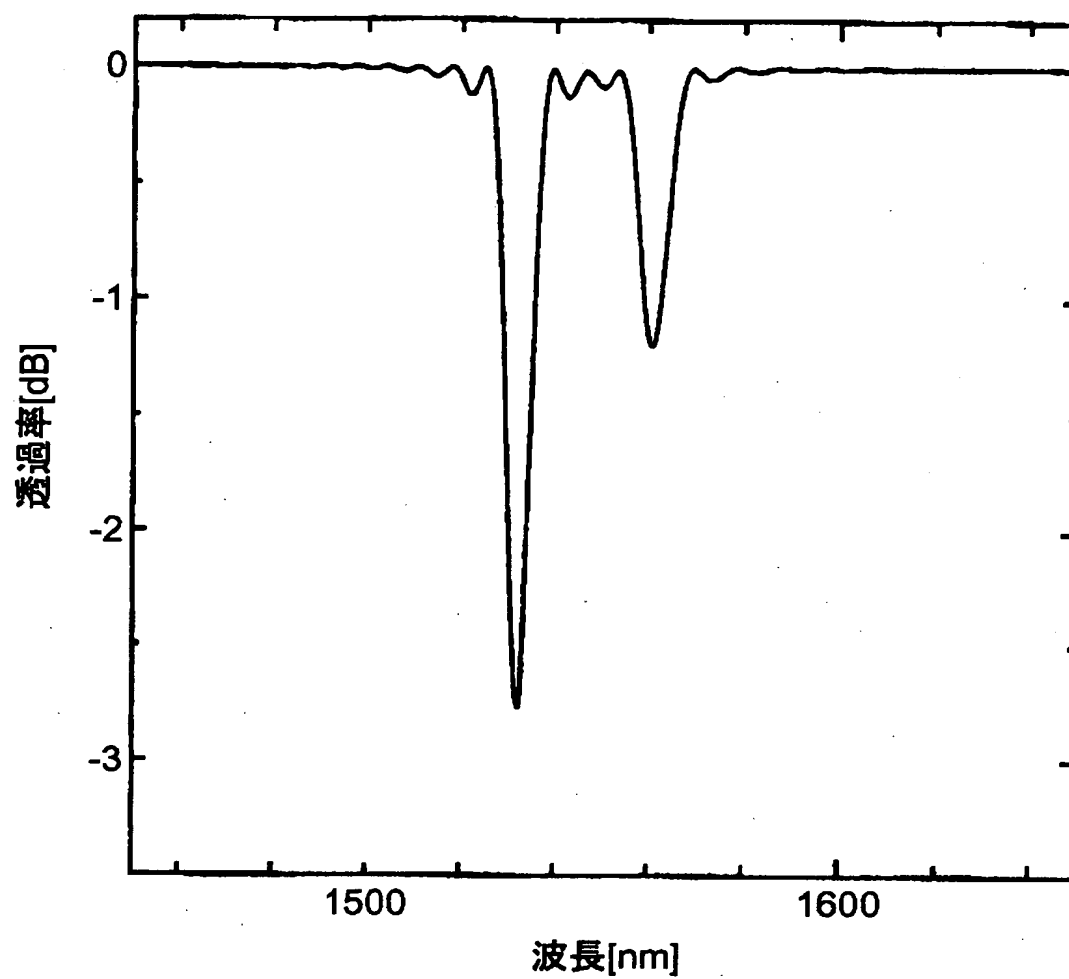
【図 3】



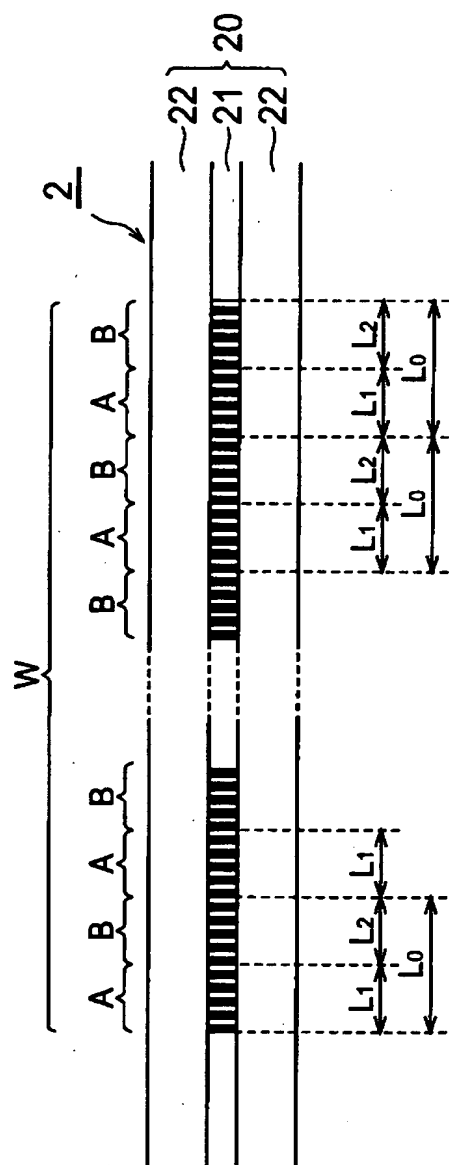
【図 4】



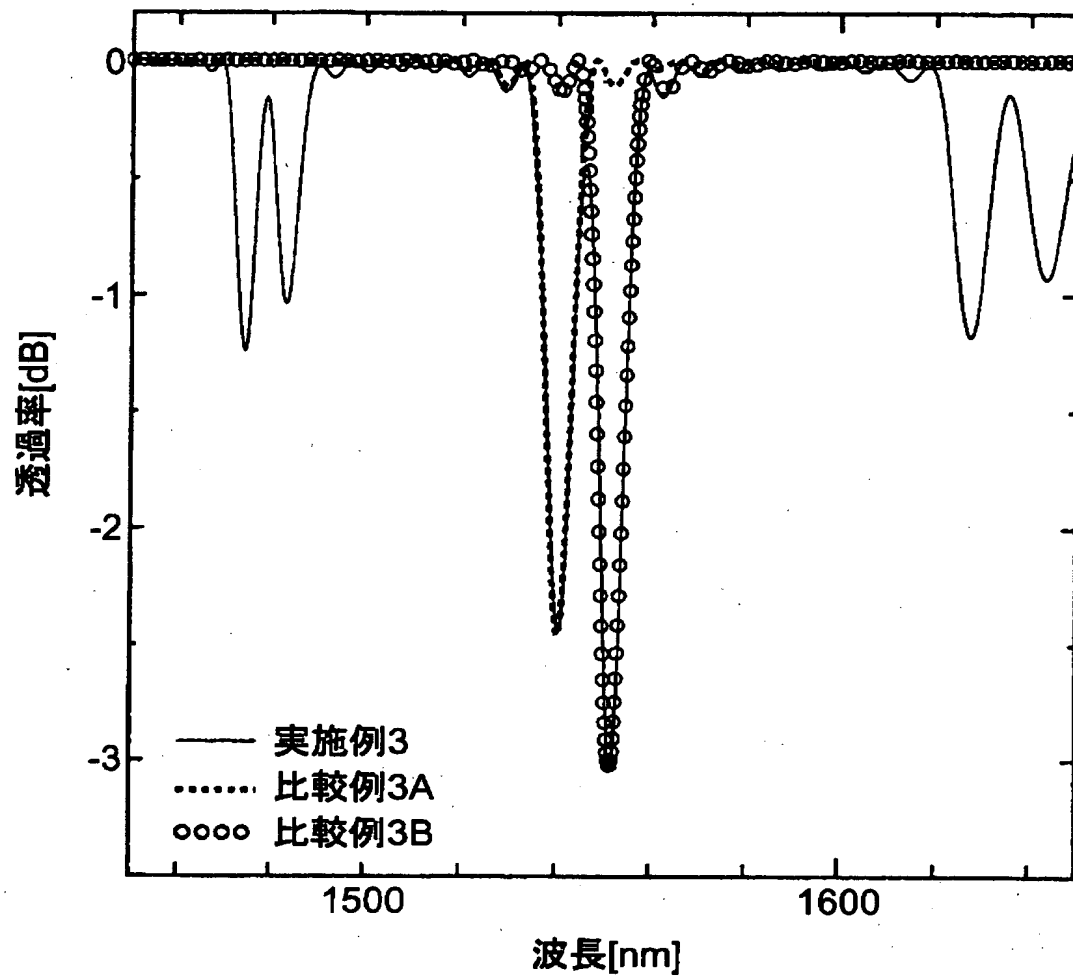
【図 5】



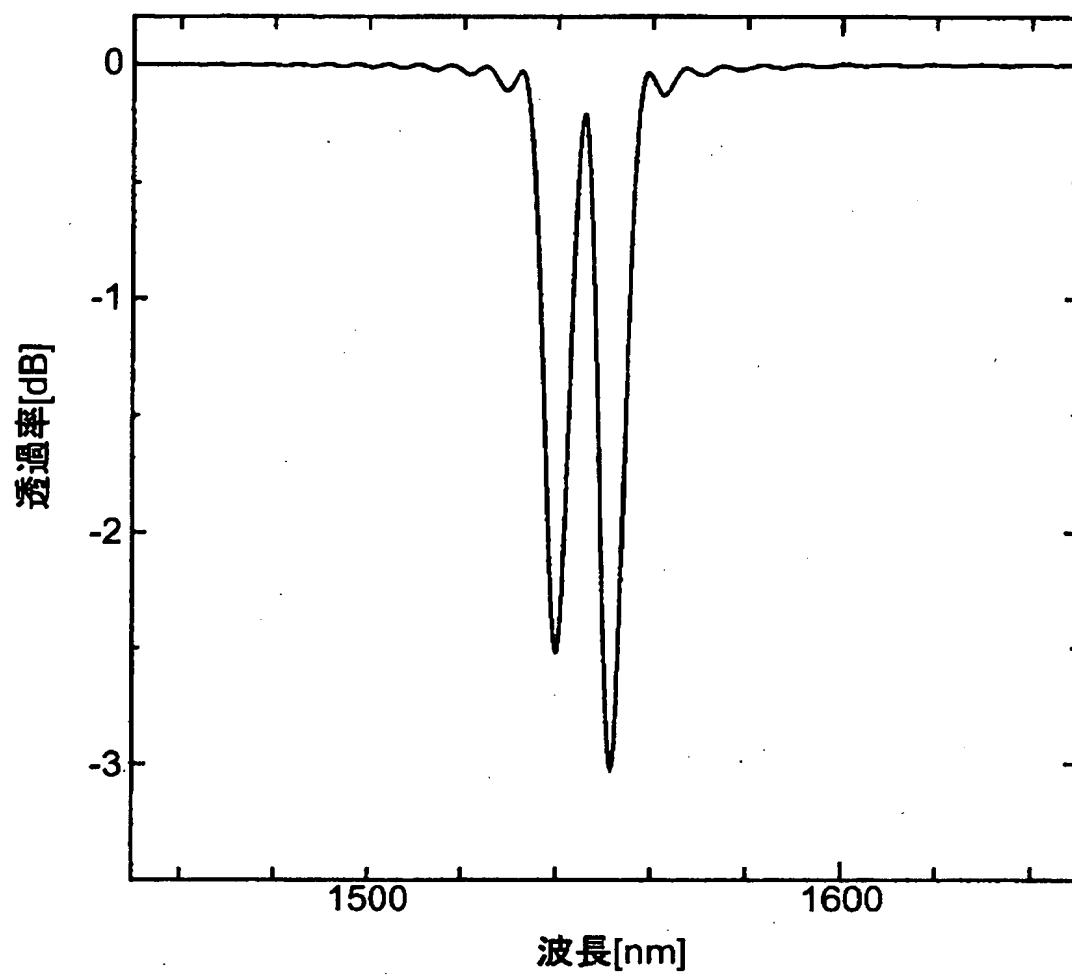
【図 6】



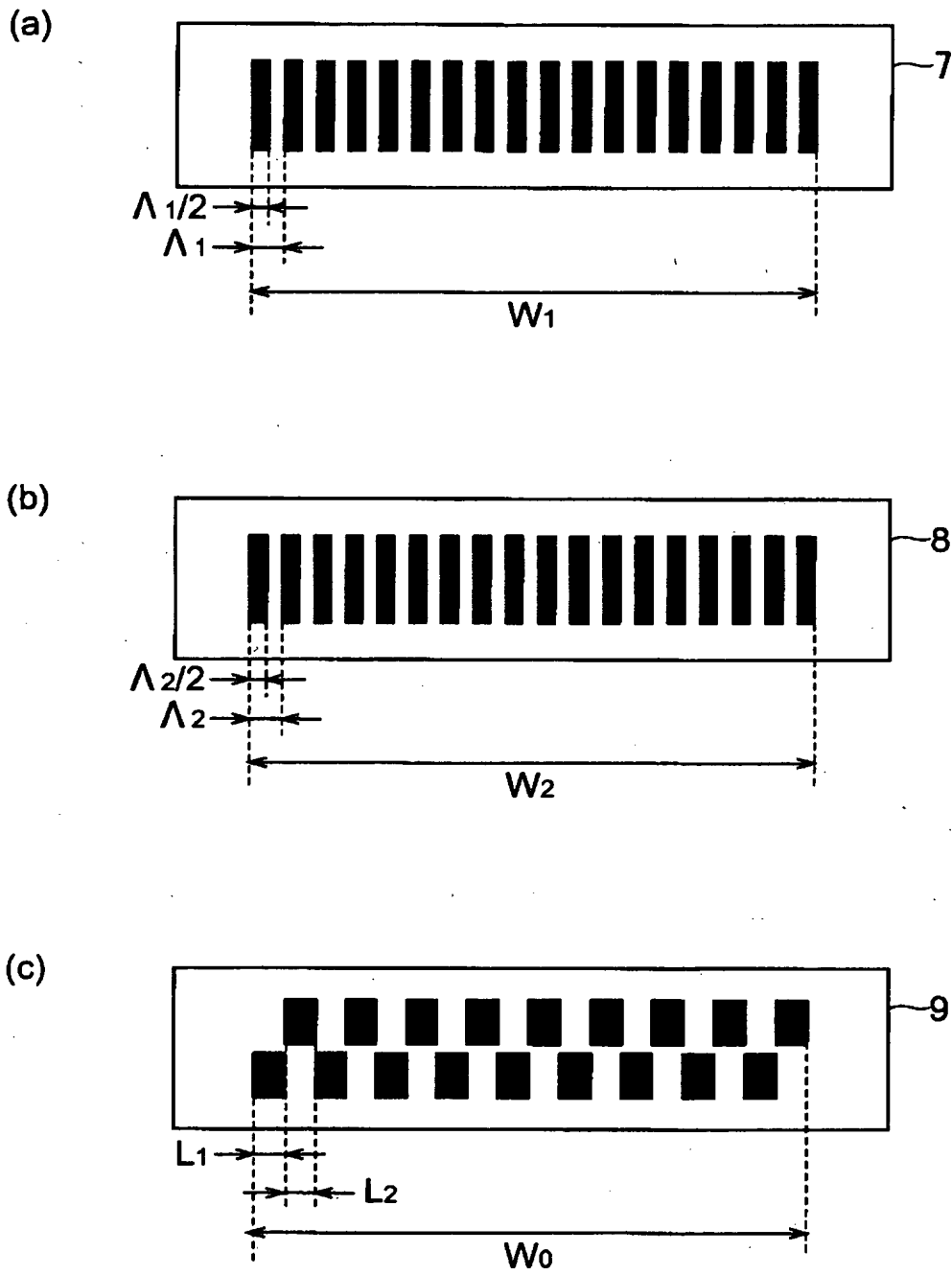
【図 7】



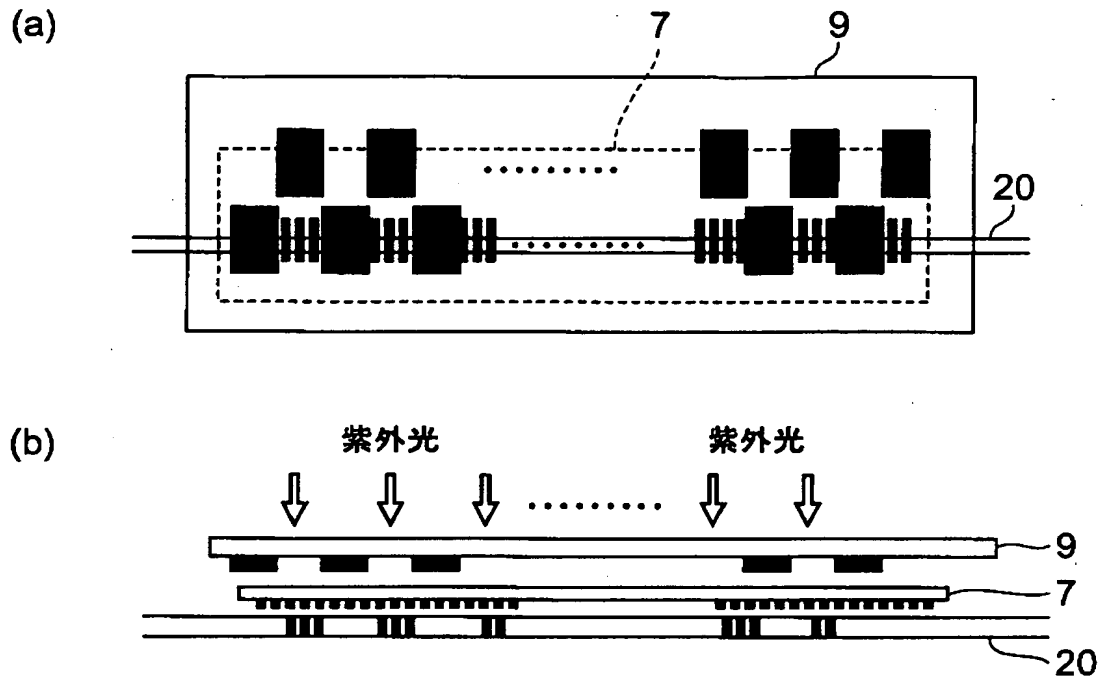
【図 8】



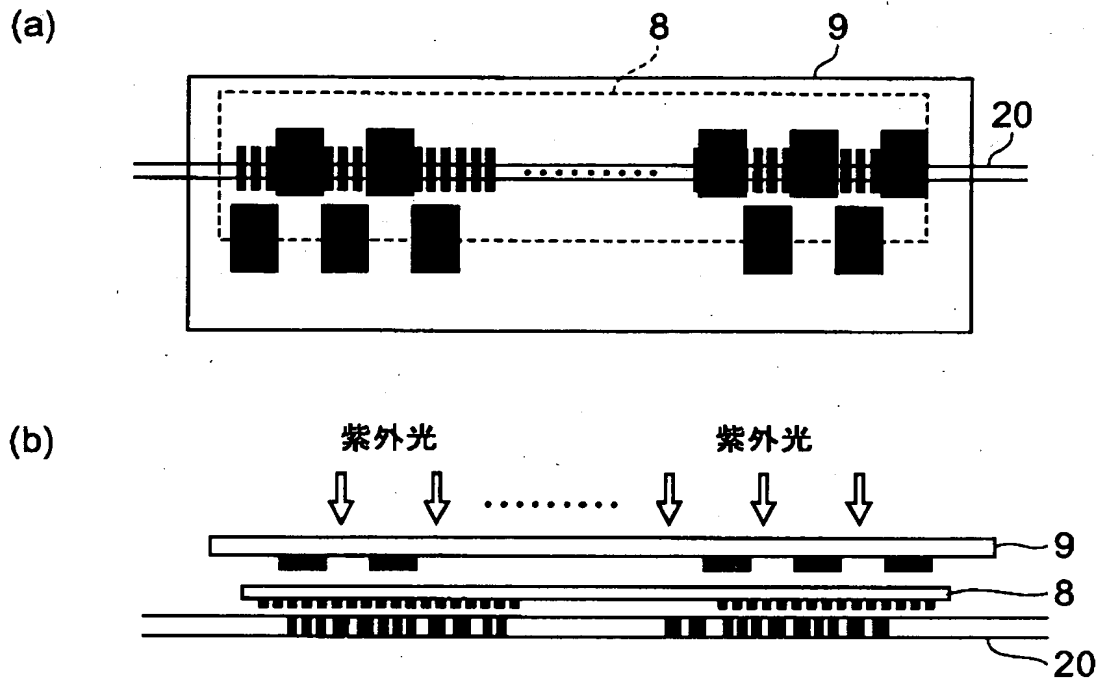
【図9】



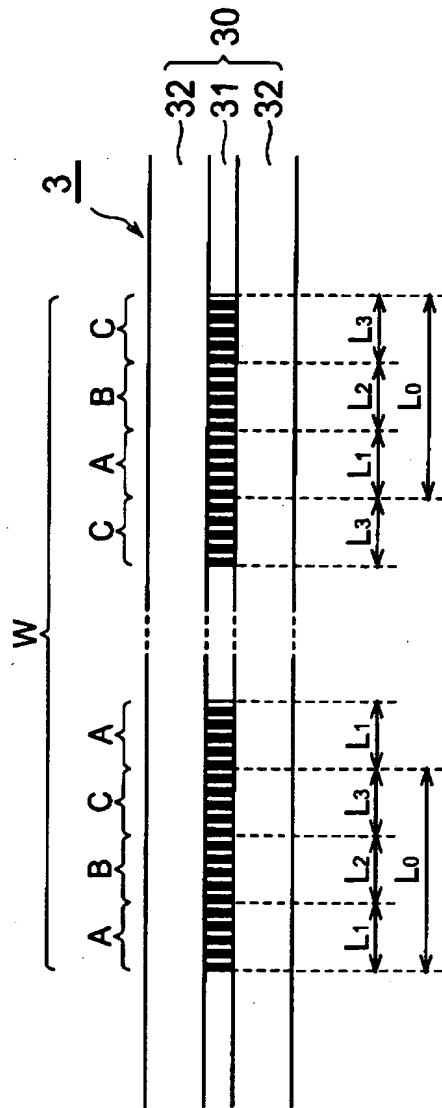
【図 1 0】



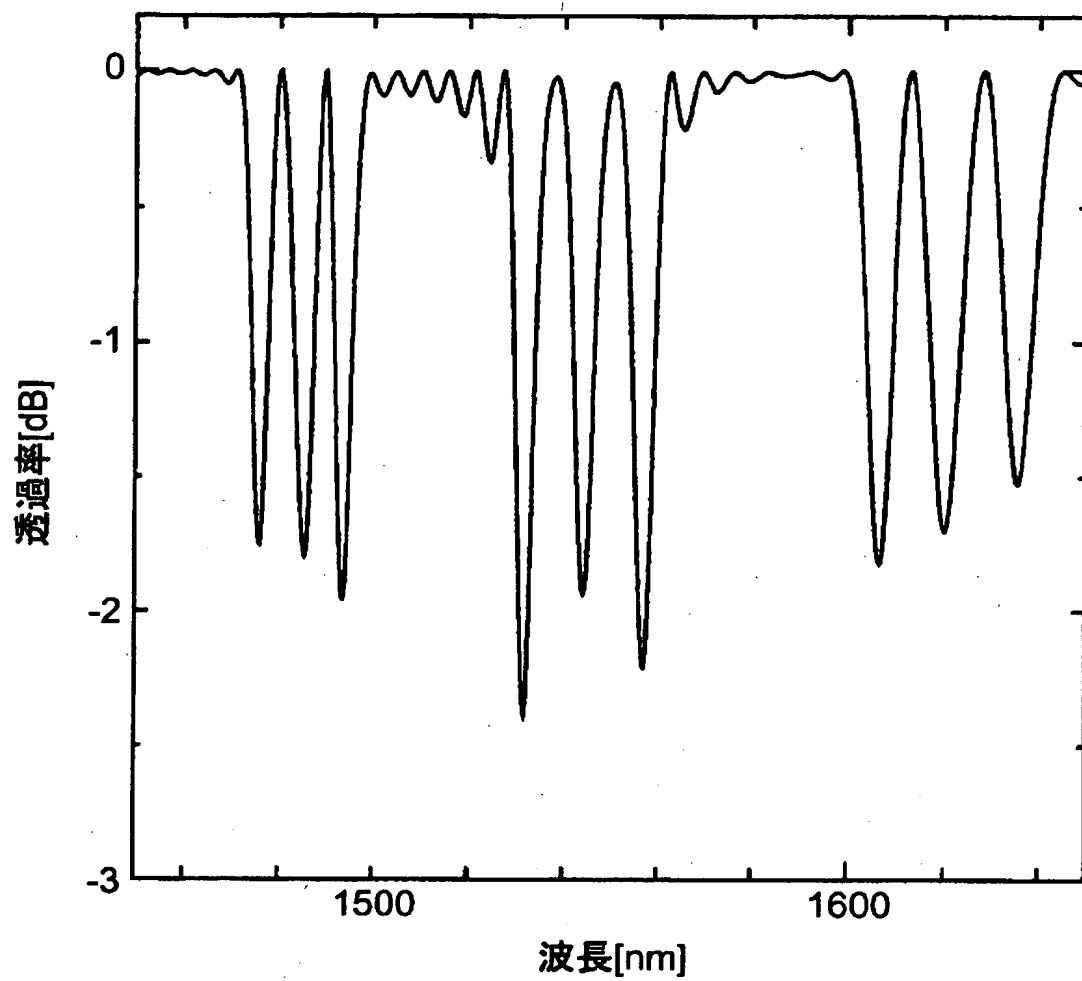
【図 11】



【図 12】



【図 13】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 信号光波長帯域において複数の損失ピーク波長を有しサイズが小さい長周期グレーティング素子を提供する。

【解決手段】 長周期グレーティング素子 1 は、 GeO_2 が添加されたコア領域 11 とこれを取り囲むクラッド領域 12 とを含む石英系の光ファイバ 10 の長手方向に沿った一定範囲 W において、複数の第 1 領域 A それぞれに第 1 周期 Λ_1 の屈折率変調がコア領域 11 に形成されている。一定範囲 W における長周期グレーティング素子 1 の屈折率変調は、第 1 領域 A における値を 1 とし他の領域における値を 0 とする第 1 方形波関数と、第 1 周期 Λ_1 の周期関数との積で表される。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 2 1 3 0]

1. 変更年月日 1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由] 新規登録

住 所 大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号

氏 名 住友電気工業株式会社